

ANALISIS EMISI PADA *FOUR STROKE DIESEL ENGINE* DENGAN *MULTI-FEEDSTOCK BIODIESEL* (MINYAK KELAPA SAWIT, MINYAK JELANTAH, MINYAK BUNGA MATAHARI)

Ahmad Anda A.^{1*}, Aminatus Sa'diyah, S.Si., M.T.², Muhammad Shah, S.T., M.T.³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: ahmadanda@student.ppns.ac.id^{1*}; [aminatus sa'diyah@ppns.ac.id](mailto:aminatus.sa'diyah@ppns.ac.id)^{2*}; [muhammad shah@ppns.ac.id](mailto:muhammad.shah@ppns.ac.id)^{3*}

Abstract - The analysis of exhaust emissions in a four-stroke diesel engine with biodiesel from several feedstocks such as palm oil, used cooking oil, and sunflower oil is an important study an effort to reduce negative impacts on the environment. This study aims to evaluate the use of biodiesel from various sources as an alternative fuel for four-stroke diesel engines. Exhaust emission analysis involves monitoring the concentration of gases such as nitrogen oxides (NOx), carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), and particulates. This study aims to show that the use of multi-feedstock biodiesel can provide significant reductions in exhaust emissions, especially NOx, CO, and HC. This can be attributed to the different chemical properties of biodiesel compared to conventional diesel fuel. The use of biodiesel can also help reduce dependence on fossil resources and provide a more environmentally friendly alternative. Thus, this study provides valuable insights into the potential use of multi-feedstock biodiesel in reducing exhaust emissions in four-stroke diesel engines, supporting efforts to achieve sustainability goals in the industrial and transportation sectors against pollution and the environment.

Keywords: Exhaust Emissions, Multi-feedstock Biodiesel, Emission Reduction, environment, four-stroke diesel engines

Nomenclature

CO ₂	= Karbon dioksida (ppm)
CO	= Massa Jenis Bahan Bakar (kg/m ³)
Nox	= Nitrogen Oxide (mg/Nm ³)
HC	= Hidrokarbon (ppm)
°C	= Suhu (Celsius)
°F	= Suhu (Fahrenheit)
%	= Persen
Kw	= Daya (Kilowatt)
V	= Volume Bahan Bakar (m ³)
t	= Waktu (s)
A	= Arus listrik (Ampere)
Hz	= Frekuensi (Hertz)

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil, seperti bensin dan solar, telah lama menjadi sumber utama emisi gas rumah kaca (GRK) yang berkontribusi pada perubahan iklim. Sebaliknya, biodiesel, yang dihasilkan dari bahan organik seperti minyak nabati atau lemak hewan, telah dianggap sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan karena menghasilkan emisi GRK yang lebih rendah. Secara teori, biofuel seharusnya mengurangi emisi dibandingkan dengan bahan bakar fosil karena tanaman yang menjadi sumber biofuel akan menyerap karbon dari atmosfer. Saat

pembakarannya, karbon akan dilepaskan ke atmosfer, namun karbon yang dikeluarkan dan diserap memiliki keseimbangan yang sama [1]. Penerapan biodiesel telah terbukti dapat mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan. Sebagai contoh, di Indonesia, implementasi biodiesel telah berhasil menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 27,8 juta ton CO₂e sepanjang tahun 2022 [2].

Meskipun biodiesel dianggap memiliki potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dibandingkan dengan bahan bakar fosil, terdapat polemik terkait dengan proses produksi biodiesel. Proses produksi biodiesel, terutama yang melibatkan komoditas kelapa sawit, dapat menyebabkan emisi GRK yang tinggi, terutama jika produksi dilakukan di lahan gambut [3]. Berdasarkan hasil penelitian, biodiesel memiliki potensi untuk memengaruhi performa engine. Sebuah studi menunjukkan bahwa biodiesel dapat mempengaruhi performa dan karakteristik emisi mesin, terutama ketika dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional. Studi tersebut mengevaluasi dampak biodiesel teroksidasi terhadap performa dan emisi mesin, dan menemukan bahwa biodiesel teroksidasi memiliki pengaruh yang berbeda dibandingkan dengan bahan bakar diesel lainnya [4]. Biodiesel murni

maupun campuran dapat digunakan pada semua jenis mesin diesel seperti pada kendaraan diesel untuk penumpang, truk, kereta, kapal, serta peralatan traktor, genset dan mesin industri lainnya. Salah satu keunggulan biodiesel dibanding dengan minyak diesel adalah ramah lingkungan, tidak beracun, dan bebas sulfur. Melihat data dari Direktorat Jendral Energi Baru terbarukan bahwa program mandatori biodiesel sudah dilakukan sejak tahun 2008, pada tahun itu pemerintah menargetkan terelisasinya biodiesel B2.5-B7.5, pada tahun 2014 yaitu menargetkan biodiesel B10, pada tahun selanjutnya 2015 yaitu B15, lalu pada tahun 2016 hingga 2019 ditargetkan biodiesel B20, sedangkan untuk target tahun 2020 hingga tahun 2022 ini yaitu pemerintah mengadakan program mandatori biodiesel B30. Biodiesel merupakan satu-satunya bahan bakar alternatif yang telah selesai menjalani *Test Health Effect* yang berat dari persyaratan The Clean Air Act. Biodiesel (100%) telah diteliti mengurangi emisi dibanding minyak diesel sebagai berikut mengurangi emisi partikulat 40-60%, emisi gas karbonmonoksida (CO) 10-50%, emisi gas hidrokarbon (HC) 10-50%, emisi *Aldehyde-Aromatic* 13% dan emisi gas beracun *Polycyclic aromatic Hydrocarbon* (PAH, Carcinogenic) 70- 97% [5].

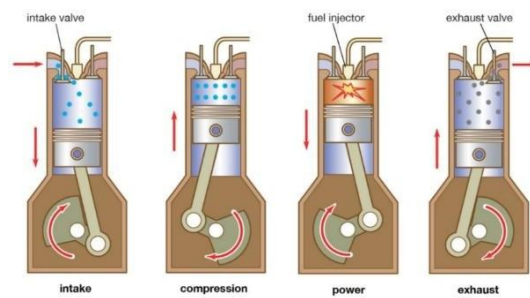
Dengan uraian yang sudah dijabarkan diatas maka dalam Artikel ini akan dilakukan pembuatan 1 macam *Multi-Feedstock* Biodiesel dengan bahan dasar minyak kelapa sawit / *Crude Palm Oil* (CPO), untuk campuran *Multi-Feedstock* Biodiesel 1 adalah minyak kelapa sawit, minyak jelantah dan minyak bunga matahari, untuk pembandingan akan kita bandingkan dengan biosolar lalu akan diujikan performanya pada motor diesel. Sebagai pembandingan, biodiesel akan dicampurkan bahan bakar solar (HSD) sehingga menjadi bahan bakar B20, B35, B100. Bahan bakar tersebut akan diuji cobakan ke motor *diesel Four-Stroke* untuk mendapatkan data unjuk kerja. Uji coba dilakukan dalam beberapa kondisi pembebanan menggunakan lampu yaitu pada beban 1000Watt 2000Watt 3000Watt, lalu akan di ujikan hasil emisi dari gas buang hasil pembakaran Engine Diesel dan didapatkan nilai karbonmonoksida (CO).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Motor Diesel 4 Sroke

Motor diesel 4 tak atau yang memiliki arti 4 langkah, dan dalam bahasa inggris 4-stroke merupakan motor pembakaran dalam (internal combustion engine) dimana untuk mendapatkan 1 kali siklus kerja dibutuhkan 4 kali langkah piston, yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha, lalu langkah pembuangan. Prinsip dari motor diesel ini yaitu mengubah energi panas

menjadi energi gerak dengan satu kali putaran crankshaft.



Gambar 1. Siklus Langkah Motor Diesel 4 Tak

2.2 Proses Pembakaran Pada *Engine Diesel*

Di dalam silinder mesin diesel udara dikompresi untuk menghasilkan suhu setinggi kira-kira 540°C (1000°F). Bahan bakar diinjeksikan ke dalam udara ini, dibawah tekanan tinggi, dalam partikel yang sangat kecil dibuat menjadi atom. Ketika memasuki ruang pembakaran partikel yang kecil ini dikelilingi oleh udara yang dipanaskan dan permukaannya mulai menguap. Ketika uap mencapai suhu yang cukup, pembakaran dimulai. Dengan penguapan yang berkelanjutan dan pembakaran maka oksigen segar diperlukan untuk mendukung pembakaran. Ketika pembakaran telah dimulai, peningkatan yang cepat dalam suhu menyebabkan bahwa bahan bakar masih tetap masuk ke ruang pembakaran untuk menyala dengan segera.

2.3 Generator

Generator adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik) atau disebut juga sebagai alternator, dan umumnya merupakan mesin listrik 3 fasa. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron 3 fasa atau generator sinkron 1 fasa tergantung kadar kebutuhannya. [6]. Pada pembangkit listrik tenaga angin misalnya generator bergerak karena adanya kincir yang berputar karena angin, demikian pula pada pembangkit pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan energi gerak dari air. Sedangkan pada pembangkit listrik gerak dari generator tersebut akan timbulkan ggl (garis gaya listrik) yang mempunyai satuan volt didapatkan dari proses pembakaran bahan bakar oleh mesin diesel yang dihubungkan dengan generator. Generator terdapat 2 jenis, yaitu AC (*Alternating Current*) dan DC (*Direct Current*).

2.4 Pertamina Dex

Dalam informasi pada *website* resmi milik Pertamina, Pertamina Dex merupakan bahan bakar dengan CN (*cetana number*) tertinggi yaitu 53, yang mampu menjaga mesin dan meningkatkan power mesin secara maksimal serta menjaga lingkungan dengan emisi gas buang yang rendah. Dihasilkan melalui proses destilasi yang

sesuai dengan standar Migas. Bahan bakar ini bisa juga disebut sebagai *High Speed Diesel* (HSD).

2.5 Biodiesel

Biodiesel, umumnya dibuat melalui suatu proses kimia yang disebut reaksi transesterifikasi atau esterifikasi, yaitu suatu reaksi senyawa ester dan alkohol dengan menggunakan suatu katalisator. Biodiesel terbuat dari minyak nabati yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Bahan baku yang berpotensi sebagai bahan baku pembuat biodiesel antara lain: kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, jarak pagar, tebu, alpukat dan beberapa jenis tumbuhan lainnya. Selain minyak nabati, bahan baku juga bisa dari lemak hewani, lemak bakas atau lemak daur ulang. Semua bahan baku ini mengandung trigliserida, asam lemak bebas (ALB), dan pencemar [7]. Proses produksi biodiesel dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Skema Produksi Biodiesel

2.6 Emisi Gas Buang

Sistem Emisi gas buang dapat berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Gas buang *Engine Diesel* mengandung berbagai zat berbahaya seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), dan partikel halus. Emisi gas buang dapat dikurangi dengan menggunakan teknologi ramah lingkungan seperti katalis konverter, sistem injeksi bahan bakar yang efisien, dan penggunaan bahan bakar alternatif seperti biodiesel dan gas alam terkompresi (CNG). Selain itu, penggunaan kendaraan listrik dan kendaraan hidrogen juga dapat membantu mengurangi emisi gas buang. Pemerintah dan lembaga lainnya juga telah mengeluarkan regulasi dan standar emisi gas buang kendaraan untuk membatasi jumlah emisi yang dihasilkan oleh kendaraan, hal itu tercantum pada aturan mengenai persyaratan uji emisi gas buang kendaraan bermotor diatur dalam Pasal 48 ayat (1) Undang-Undang Nomor 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan [8].

Di Indonesia, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 20 Tahun 2017 resmi menerapkan standar emisi Euro-4 bagi kendaraan bermotor. KLHK pun kembali merilis jenis kendaraan tipe baru kategori M, N dan O

sebagai tipe kendaraan yang wajib menerapkan standar emisi Euro-4 sesuai dengan aturan yang tertera dalam Permen LHK tersebut [9].

BAKU MUTU EMISI MESIN DENGAN PEMBAKARAN DALAM ATAU GENSET

No	Kapasitas	Bahan Bakar	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm ³)
1.	101 – 500 KW	Minyak	Nitrogen Oksida (NO _x)	3400
			Karbon Monoksida (CO)	170
		Gas	Nitrogen Oksida (NO _x)	300
			Karbon Monoksida (CO)	450
2.	501 KW – 1000 KW	Minyak	Nitrogen Oksida (NO _x)	1850
			Karbon Monoksida (CO)	77
			total partikulat	95
			Sulfur Dioksida (SO ₂)	160
		Gas	Nitrogen Oksida (NO _x)	300
			Karbon Monoksida (CO)	250
			Sulfur Dioksida (SO ₂)	150
			Nitrogen Oksida (NO _x)	2300
3.	1001 KW – 3000 KW	Minyak	Karbon Monoksida (CO)	168
			total partikulat	90
			Sulfur Dioksida (SO ₂)	150
		Gas	Nitrogen Oksida (NO _x)	285
			Karbon Monoksida (CO)	250
			Sulfur Dioksida (SO ₂)	60

Gambar 3. Tabel Baku Mutu Emisi Mesin

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi Motor Diesel dan Generator



Gambar 4. ZH1115N Diesel Engine Jiandong

Pada penelitian ini, mesin induk yang digunakan adalah ZH1115N Diesel Jiandong dikopel dengan generator spesifikasi dijelaskan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data *Spec Engine Diesel*

Model	JD ZH1115N
Jenis	single-cylinder, horizontal, 4-cycle
Sistem pembakaran	direct injection
Diameter x panjang langkah (mm)	115 x 115
Volume langkah (L)	1.195
Tenaga continue (HP/Rpm)	24/2200
Sistem pendingin	hopper
Sistem pelumasan	kombinasi tekanan & penyebaran
Sistem start	tangan/engkol & starter
Berat bersih (kg)	180

Tabel 2. Data Material Konstruksi Pondasi Mesin Induk

Model	A.C. SYNCHRONOUS
Jenis	GENERATOR STC-5
Power	5Kw / 6.3 KV
Voltage	380/660V

Arus Listrik	5,5 A
Cos φ	0,8
Number of Phase	3
Frequence	50 Hz
Speed	1500 RPM
Excit Volt.	82 V
Excit Current	3,6 A

3.2 Pembuatan Multi-Feedstock Biodiesel

Pembuatan *multi-feedstock* biodiesel berasal dari campuran biodiesel minyak kelapa sawit, biodiesel minyak jelantah dan biodiesel minyak bunga matahari. Dari ketiga jenis biodiesel tersebut (biodiesel minyak kelapa sawit, biodiesel minyak jelantah dan biodiesel minyak bunga matahari) dibuat dengan cara yang sama yaitu proses esterifikasi dilanjutkan dengan proses pencucian. Proses esterifikasi dilakukan untuk mengubah asam lemak basah yang direaksikan dengan alkohol yang dibantu katalis pada minyak nabati menjadi gliserol. Pada proses ini digunakan alkohol jenis methanol dan katalis basa berupa NaOH. Proses esterifikasi dilakukan dengan memanaskan minyak nabati menggunakan *hot plate* hingga mencapai suhu reaksi sebesar 55°C. Setelah mencapai suhu reaksi, minyak nabati dicampurkan dengan campuran metanol dengan NaOH. Perbandingan volume antara minyak nabati dengan methanol sebesar 5 : 1 dan digunakan NaOH sebesar 3 gram dari 1 liter minyak. Proses reaksi berlangsung selama 1 jam dengan frekuensi pengadukan konstan pada suhu 55°C.



Gambar 5. Pembuatan Biodiesel

Setelah proses pemurnian, biodiesel minyak kelapa sawit, biodiesel minyak jelantah dan biodiesel minyak bunga matahari dicampurkan secara langsung dengan perbandingan volume 1 : 1 : 1 sehingga didapatkan *multi-feedstock* biodiesel (B100). B20 didapatkan dari pencampuran langsung *multi-feedstock* biodiesel (B100) sebesar 20% dan Pertamina Dex 80% dari volume keseluruhan. Untuk B35 didapatkan dari pencampuran langsung *multi-feedstock* biodiesel (B100) sebesar 35% dan Pertamina Dex 65% dari

volume keseluruhan. Gambar 4.1 menampilkan *multi-feedstock* biodiesel (B20, B35 dan B100).



Gambar 6. Multi-Feedstock Biodiesel (B20, B35, B100)

3.3 Analisis Karakteristik Biodiesel

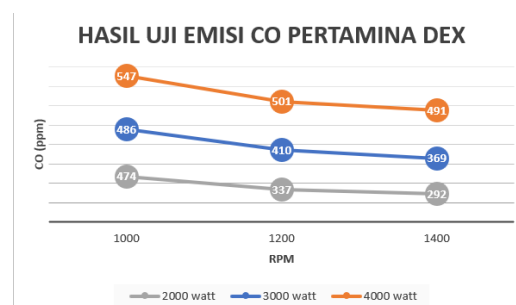
Data hasil pengujian karakteristik pertamina dex dan bahan bakar *multi-feedstock* biodiesel dengan variasi B20, B35, dan B100 dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini:

Tabel 3. Data Karakteristik Biodiesel

Bahan Bakar	Titik Nyala (°C)	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (cSt)
Pertamina Dex	55	820-860	2,0-4,5
B20	58	844	1,84286
B35	65	864	1,83298
B100	131	884	2,38445

Bahan Bakar	Angka Setana	Nilai Kalor (cal/g)
Pertamina Dex	53 (min)	10,401
B20	>62,5	10,675
B35	>62,5	10,473
B100	>62,5	9,520

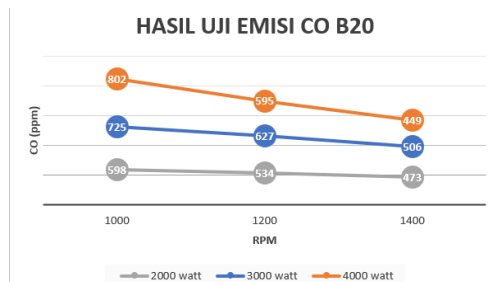
3.4 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang (CO) Pertamina Dex



Gambar 7. Grafik Emisi (CO) Pertamina Dex

Pada gambar 7. didapatkan grafik diatas, kesimpulan bahwa emisi gas buang (CO) menurun dengan adanya peningkatan yang ada pada beban lampu dan RPM, hal ini membuktikan bahwa pembakaran yang baik dapat menurunkan kadar CO yang dihasilkan oleh Engine.

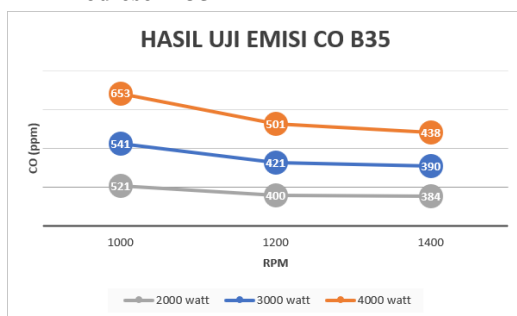
3.5 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang (CO) Biodiesel B20



Gambar 8. Grafik Emisi (CO) Biodiesel B20

Hasil pengujian Emisi yang di ambil menggunakan CO meter pada Biodiesel B20 meningkat drastis dibanding dengan emisi yang dihasilkan oleh Pertamina Dex, pada B20 emisi tertinggi ada pada 802 ppm sedangkan Pertamina Dex hanya di 547 ppm.

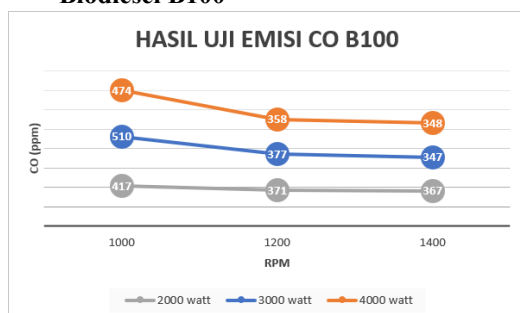
3.6 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang (CO) Biodiesel B35



Gambar 9. Grafik Emisi (CO) Biodiesel B35

Pada pengujian emisi di Biodiesel B35 nilai CO tertinggi ada di 653 ppm dari grafik di atas angka dari nilai CO semakin mendekati nilai CO dari Pertamina Dex, hal ini membuktikan bahwa pembakaran semakin baik karena emisi CO yang di hasilkan semakin rendah.

3.7 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang (CO) Biodiesel B100



Gambar 10. Grafik Emisi (CO) Biodiesel B35

Biodiesel B100 pada variasi tertinggi yaitu di RPM 1400 dan pembebanan di 4000 watt hanya menghasilkan 348 ppm kandungan karbon

monoksida (CO), sedangkan pada Pertamina Dex hasil CO ada di 491 ppm. Pada variasi terendah hasil pengujian menggunakan B100 yaitu di 1000 RPM dan beban 2000 watt menghasilkan kadar CO sebesar 417 ppm namun pada Pertamina Dex CO yang dihasilkan adalah sebesar 474 ppm.

Hal ini membuktikan bahwa emisi yang dihasilkan oleh Biodiesel murni (B100) lebih baik dibanding dengan Pertamina Dex. Dengan hasil ini terbukti juga bahwa pembakaran yang ada pada engine lebih sempurna apabila menggunakan Biodiesel murni (B100), namun Biodiesel masih memiliki kelemahan yaitu mudah mengendap dan menghasilkan kerak pada dinding cylinder. Hal ini lah yang menyebabkan pihak-pihak komersil masih melakukan pencampuran antara Biodiesel murni dengan minyak bumi, agar dapat meningkatkan *performance* pada engine dan mengurangi emisi untuk keberlangsungan lingkungan yang lebih baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Pengujian dan analisis yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Campuran *multi-feedstock* biodiesel antara B100 (Minyak kelapa sawit, minyak jelantah dan minyak lemak sapi) dengan Pertamina Dex berpengaruh pada karakteristik bahan bakar. Dalam karakteristik titik nyala, densitas dan viskositas semakin besar prosentase *multi-feedstock* biodiesel maka semakin tinggi nilai yang ditunjukkan, sedangkan pada nilai kalor semakin besar campuran *multi-feedstock* biodiesel semakin rendah hasil nilai kalor. B20 memiliki nilai densitas sebesar 818.54 (kg/m³), viskositas sebesar 2,3001 cSt, titik nyala sebesar 57°C, angka setana sebesar >62,5 dan nilai kalor sebesar 10,675 (cal/g). B35 memiliki nilai densitas sebesar 825,56 (kg/m³), viskositas sebesar 2,452 cSt, titik nyala sebesar 61°C, angka setana sebesar >62,5 saat pengujian volume bahan bakar tidak terlalu penuh dan nilai kalor sebesar 10,473 (cal/g). B100 memiliki nilai densitas sebesar 872,88 (kg/m³), viskositas sebesar 3,6992 cSt, titik nyala sebesar 119°C, angka setana sebesar >62,5 saat pengujian volume bahan bakar setengah dan nilai kalor sebesar 9,520 (cal/g). Seluruh hasil uji karakteristik memenuhi syarat mutu biodiesel menurut SNI 7182:2015.

Multi-feedstock biodiesel B100 menjadi bahan bakar yang paling optimal dan paling ramah lingkungan dilihat dari pengujian menggunakan CO meter yang dilakukan pada 3 variasi RPM dan 3 variasi pembebanan, pada pengujian tersebut menghasilkan kadar karbon monoksida (CO) yang paling rendah yaitu di 474 ppm pada kondisi pengujian maksimal dengan beban 4000 watt dan putaran mesin tertinggi di 1400 RPM. Hal ini dapat di bandingkan dengan

kadar karbon monoksida pada variasi tertinggi menggunakan bahan bakar pertamina dex dengan kadar CO sebesar 547 ppm. Kesimpulan dari pengujian menggunakan CO meter adalah *multi-feedstock* biodiesel B100 lebih efisien saat pembakaran dibandingkan dengan pertamina dex karena semakin baik pembakaran akan menghasilkan kandungan karbon monoksida yang semakin sedikit pula.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian penelitian ini tidak terlepas atas bimbingan, doa, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua serta keluarga besar penulis yang telah memberikan semangat, dukungan, serta do'a selama menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Ibu Aminatus Sa'diyah, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan dan saran selama penulisan Tugas Akhir.
3. Bapak Muhammad Shah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan saran selama penulisan Tugas Akhir.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu selama masa perkuliahan.
5. Teman – teman seperjuangan Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal angkatan 2020 atas kerjasama dan kekompakan selama menempuh studi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Dahiya, *Biofuels economics, sustainability, environmental and policy*, Second Edi. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-815497-7.02007-8.
- [2] Kementerian ESDM, "Capaian Kinerja Sektor ESDM tahun 2021 dan Rencana tahun 2022," *Website Kementerian. ESDM*, p. 43, 2022, [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-capaian-kinerja-sektor-esdm-tahun-2021-dan-rencana-tahun-2022.pdf>
- [3] B. D. Tomo and I. M. I. Brunner, "Pengaruh Biodiesel Terhadap Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dengan Aplikasi APPLE-GATRIK (Studi Kasus PLTD Talaga Sulawesi Tenggara)," *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 3, pp. 3406–3413, 2022, doi: 10.32672/jse.v7i3.4430.
- [4] I. Nurhadi, "Pengaruh Penggunaan Biodiesel Terhadap Performa Dan Komponen Utama Pada Motor Pokok Kri Weling-822," *Tesis-Me 14251*, 2015.
- [5] A. Wijono, "Dampak pengurangan emisi kendaraan pada pemakaian campuran biodiesel 20%," *J. Nas. Sains dan Teknol.*, no. November, pp. 1–12, 2017.
- [6] A. Kusuma and Supriyo, "Analisa Generator 3 Fasa Tipe Magnet Permanen Dengan Penggerak Mula Turbin Angin Propeller 3 Blade Untuk PLTB," *EKSERGI J. Tek. Energi*, vol. 11, no. 1, pp. 12–17, 2015.
- [7] L. Devita, "Biodiesel Sebagai Bioenergi Alternatif Dan Prospektif," *Agrica Ekstensia*, vol. 9, no. 2, pp. 23–26, 2015.
- [8] A. Usman, "Sanksi Tidak Melakukan Atau Tidak Lulus Uji Emisi Kendaraan Bermotor," *BPSDM Hukum dan HAM*. 2022. [Online]. Available: <https://bpsdm-dev.kemenkumham.go.id/informasi-publik/publikasi/pojok-penyuluhan-hukum/sanksi-tidak-melakukan-atau-tidak-lulus-uji-emisi-kendaraan-bermotor>
- [9] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2021 Tentang Baku Mutu Emisi Mesin Dengan Pembakaran Dalam," *Kementeri. Lingkung. Hidup*, pp. 1–32, 2021.